

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

СУЧАСНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів, які навчаються
за спеціальністю 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»,
спеціалізація «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва»*

Київ

КПІ ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО

2018

Сучасні вимірювальні системи: Лабораторний практикум: навч. посіб. для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», спеціалізація «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: К.Д. Ноженко, О.Ю.Олійник. – Електронні текстові дані (1 файл: 0,58 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. - 29с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 8 від 19.04.2018 р.)
за поданням Вченої ради ТЕФ (протокол № 8 від 26.03.2018 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

СУЧАСНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

ЗАВДАННЯ до лабораторних робіт

Укладачі: *Ноженко Костянтин Данилович, ст. викл.*

Олійник Олена Юріївна, к.т.н., доц.

Відповідальний редактор: *Бунь П.В., к.т.н., доц. кафедри АТЕП*

Рецензент: *Пуховий І.І., д.т.н., проф. кафедри ТПТ*

Методичні вказівки призначені для студентів денної форми навчання за спеціальністю 151: «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», для спеціалізації «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», які виконують лабораторні роботи з кредитного модулю «Сучасні вимірювальні системи». Вказівки містять необхідні теоретичні відомості, завдання до лабораторних робіт, методику перевірки приладів та довідникові матеріали. Методичні вказівки можуть використовуватися при підготовці та виконанні лабораторних робіт із суміжних дисциплін, а також будуть корисними для студентів інших спеціальностей, які вивчають вимірювальні системи та технологічні вимірювання.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018

ЗМІСТ

	Стор.
1. Вступ	4
2. Лабораторна робота №1: «Дзвоновий дифманометр»	5
3. Лабораторна робота №2: «Мембранний дифманометр-витратомір»	11
4. Лабораторна робота №3: «Дослідження статичної характеристики дифманометра-витратоміра Метран-100-ДД»	18
5. Лабораторна робота №4: «Перетворювачі взаємної індукції»	22
6. Лабораторна робота №5: «Гідростатичний рівнемір»	26
Література	29

1. ВСТУП

Стрімкий розвиток та впровадження інформаційно-вимірjuвальних технологій, комп'ютеризація, автоматизація виробництв потребують підготовку фахівців зі знанням сучасних вимірjuвальних систем та метрології.

Вимірjuвальна система — різновид інформаційно-вимірjuвальної системи у вигляді сукупності вимірjuвальних каналів, вимірjuвальних пристроїв та інших технічних засобів, об'єднаних для створення сигналів вимірjuвальної інформації про декілька вимірjuваних фізичних величин^[1]. Перераховані елементи вимірjuвальної системи об'єднані загальним алгоритмом функціонування для отримання даних про величини, що характеризують стан об'єкта дослідження.

Сучасні інформаційні системи можуть бути складовими розвиненіших структур вимірjuвальних інформаційних систем і систем управління, на які покладаються функції контролю, діагностики, розпізнавання образів, автоматичного керування, випробуваннями складних об'єктів і технологічними процесами.

Згідно із Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність», що набрав чинності з 01.01. 2016 року, вимірjuванням вважається процес експериментального визначення одного або декількох значень величини, які можуть бути обґрунтовано приписані величині^[2]. Точність вимірjuвань означає максимальну наближеність результатів вимірjuвання до істинного значення вимірjuваної величини.

Дана дисципліна передбачає вивчення студентами основ теорії технологічних вимірjuвань, формування умінь та навичок роботи із сучасними вимірjuвальними системами, проведення метрологічного контролю, а також вивчення конструкції технічних засобів, які використовуються під час проведення цих вимірjuвань. Вивчаючи "Сучасні вимірjuвальні системи", необхідно опрацювати матеріал кожної теми за рекомендованою літературою, питаннями програми, вказаними в методичних рекомендаціях та розібратись з постановкою задач і порядком проведення лабораторного практикуму.

Метою данного курсу є навчання студентів проведенню в енергетиці вимірjuвань, контролю, діагностування і інших видів експериментів з контрольованою точністю при дотриманні вимог метрології і стандартизації, проведення інтерпретації результатів.

Завданням дисципліни є освоєння принципів дії, основних характеристик засобів вимірjuвань, що вивчаються. Вироблення умінь правильно вибрати метод і засоби вимірjuвання, оцінити погрішності, обробити результати вимірjuвань.

[1]. ДСТУ 2681-94 Державна система забезпечення єдності вимірjuвань. Метрологія. Терміни та визначення.

[2]. Про метрологію та метрологічну діяльність: Верховна Рада України; Закон від 05.06.2014 № 1314-VII

2. Лабораторна робота №1 ДЗВОНОВИЙ ДИФМАНОМЕТР

1.1. Мета роботи

1. Вивчення принципу дії і конструкції дзвонових дифманометрів.
2. Вивчення принципу дії, конструкції і придбання практичних навичок виміру тиску мікроманометром з похилою трубкою.
3. Вивчення диференційно-трансформаторних перетворювачів.
4. Вивчення і практичне освоєння стандартної методики перевірки дзвонових дифманометрів.

1.2. Підготовка до лабораторної роботи

1. Вивчити принцип дії і конструкцію дзвонового дифманометра ДКО-3702, зразкового мікроманометра ММН-240 і прийоми роботи з ними та методику повірки дифманометрів з електричним вихідним сигналом.
2. Підготувати форму звіту про лабораторну роботу, що повинний містити титульний лист, мету роботи, схеми приладів, повірочну схему і короткі пояснення до них, перелік операцій, що роблять при повірці, і результати роботи (Рис.3.4).

1.3.Опис установки

На Рис.1.1 приведена схема стану для повірки дзвонового дифманометра ДКО-3702. Для виміру вихідного сигналу дифманометра, що повіряється, використовується цифровий вольтметр В7-20. При повірці тиск створюється сильфонним пресом СП, що через триходовий кран ТК підключається до плюсової камери дифманометра, що повіряється. Мінусова камера сполучена з атмосферою. Таким чином, повірка дифманометра здійснюється шляхом створення в плюсовій камері дифманометра надлишкового (над атмосферним) тиску. Дійсне значення надлишкового тиску в плюсовій камері визначається рідинним мікроманометром з похилою трубкою ММН-240.

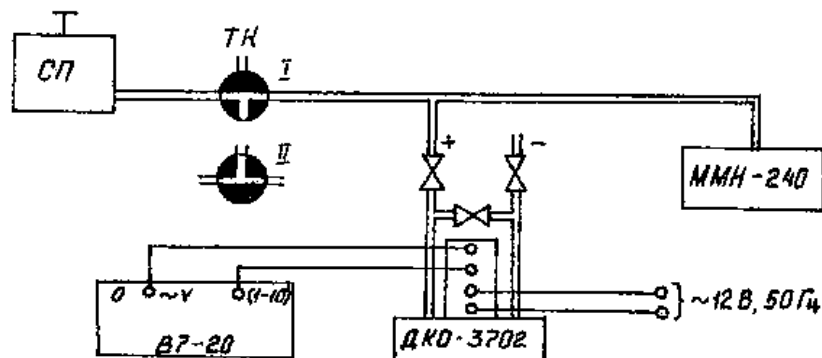


Рис. 1.1 Схема стану для повірки дзвонового дифманометра

Мікроманометр ММН-240 відноситься до однотрубних або чашкових рідинних засобів вимірювання тиску з видимим рівнем і призначений для виміру

надлишкового, вакуумметричного тиску чи різниці тисків неагресивних газів у межах від 0 до 2,4 кПа (240 кгс/м²). Мікроманометр (Рис.1.2) складається з підставки 1, що при вимірі повинна бути встановлена строго в горизонтальній площині, двох сполучених посудин: чаші 2 і скляної трубки 5 з нанесеною шкалою, заповнених технічним етиловим спиртом із щільністю 0,8095г/см³ при температурі (20 ± 5)°С, дуги 6, закріпленої на підставці і коректора нульового положення 4. Скляна трубка 5 зі шкалою може встановлюватися в одне з п'яти фіксованих положень за допомогою фіксатора й отворів у дузі 6. Шкала, нанесена на скляній трубці 5, має довжину 300мм. Ціна найменшого ділення шкали 1мм.

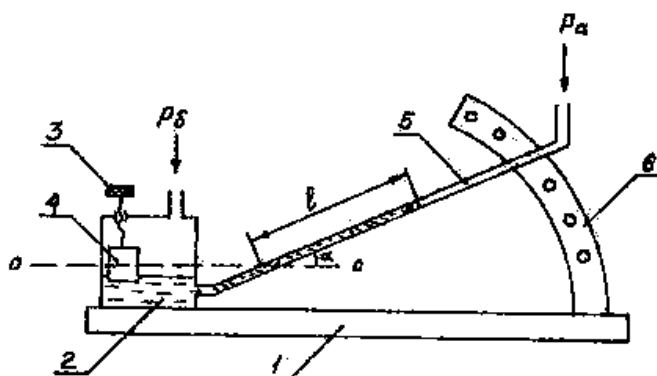


Рис. 1.2 Схема рідинного мікроманометра

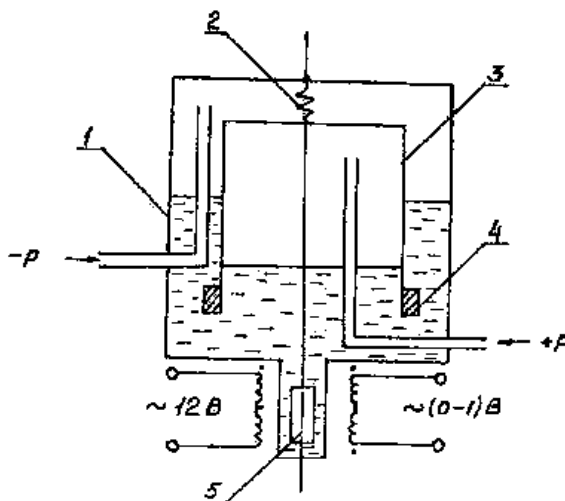


Рис. 1.3. Схема дзвонового дифманометра

Вимірюваний тиск P , кгс/м²:

$$P = k \cdot l, \quad (1.1)$$

де l - показання мікроманометра по шкалі, мм;

K - коефіцієнт, нанесений на дузі 6 проти кожного з п'яти отворів, $K = 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,8$.

Коефіцієнт K розраховується по наступній формулі:

$$k = \rho \cdot \left(\frac{f}{F} + \sin \alpha \right), \quad (1.2)$$

де ρ – щільність етилового спирту, кг/м³; f, F площа поперечного перерізу скляної трубки 5 і чаші 2; якщо ρ відрізняється від вказаної на мікроманометрі треба ввести поправку.

α - кут нахилу скляної трубки 5.

Основна похибка мікроманометра $\pm 0,5\%$ або менше.

Дзвоновий дифманометр, що повіряється, ДКО-3702 призначений для виміру тисків неагресивних газів і розрахований на одну з наступних верхніх меж виміру: 10, 16, 25, 40, 63, 100 кгс/м² (або приблизно 100, 160, 250, 400, 630, 1000 Па).

Дифманометр (Рис.1.3) складається з корпусу 1, у верхній частині якого закріплена пружина 2, до протилежного кінця якої підвішений тонкостінний металевий дзвін 3. У корпус заливається трансформаторна олія, що розділяє «плюсову» (під дзвоном) і «мінусову» (зовні дзвону) камери. До дзвону підвішений плунжер 5 вихідного диференційно-трансформаторного перетворювача.

Якщо вимірювана різниця тисків дорівнює нулю, то вага дзвону врівноважується зусиллям пружної деформації пружини 2:

$$m \cdot g = k_n \cdot L_0, \quad (1.3)$$

де m - маса дзвону, кг; k_n - коефіцієнт пружності гвинтової пружини; L_0 - довжина пружини(початкова), мм.

Зусилля, що розвивається вимірюваною різницею тисків, зменшує зусилля пружної деформації пружини. При цьому дзвін і плунжер диференційно-трансформаторного перетворювача переміщується на величину H . Рівняння сил, прикладених у точці закріплення пружини, має вигляд:

$$m \cdot g = k_n (L_0 - H) + (P_1 - P_2) S, \quad (1.4)$$

де: H - переміщення дзвону, мм;

S - площа кришки дзвону, мм².

Віднімаючи з рівняння (1.4) рівняння (1.3), після перетворень одержуємо:

$$(P_1 - P_2) = \frac{k_n}{S} H. \quad (1.5)$$

Основна похибка дифманометрів ДКО-3702 дорівнює $\pm 1,5\%$.

3.4.Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему, приведену на Рис. 1.1. Установити перемикачі вольтметра В7-20 у положення « $\sim V$ », «10».
2. Подати живлення на вольтметр і дифманометр і прогріти дифманометр протягом 10-15 хв.
3. Установити мікроманометр ММН-240 за рівнем.
4. Розрахувати значення коефіцієнта K :

$$k = \frac{\Delta P_n}{\ell_{\max}}, \quad (1.6)$$

де ΔP_n - граничний номінальний перепад, на який розрахований дзвоновий дифманометр, що перевіряється, кгс/м²; ℓ_{\max} - довжина шкали мікроманометра, $\ell_{\max} = 300\text{мм}$;

5. Округлити отримане значення до найближчого більшого значення коефіцієнта, зазначеного на дузі 6 мікроманометра.
6. Установити скляну трубку 5 (Рис.1.2) у розрахункове положення. Відкрити триходовий кран ТК (встановити його в положення II (Рис.1.1) і перевірити установку рівня рідини в скляній трубці 5 проти нульової відмітки. При розбіжності рівня рідини з нульовою відміткою зробити коригування рівня коректором нульового положення меніска (рукоятка 3).
7. Обертаючи рукоятку сильфонного преса СП проти ходу годинникової стрілки, повністю розтягти сильфон.
8. Триходовий кран ТК установити в положення I і зробити по шкалі вольтметра відлік значення вихідної напруги дзвонового дифманометра, що відповідає нульовому значенню вимірюваного тиску.
9. Погодити з викладачем дискретність зміни тиску в одиницях довжини по шкалі мікроманометра.
10. Створюючи сильфонним пресом СП відповідний тиск, зробити відліки вихідної напруги ДКО-3702 по шкалі вольтметра для кожного значення тиску.
11. Результати записати до протоколу повірки.
12. Зробити аналогічні виміри при зниженні тиску від ΔP_n до нуля при тих же значеннях тиску. Результати записати до протоколу повірки (Рис.1.4).
13. Відключити живлення. Розібрати схему.

3.5. Обробка результатів

1. Дійсне значення вимірюваного тиску за показаннями зразкового мікроманометра ММН-240 визначається по формулі (1.1).
2. Визначити розрахункове значення вихідної напруги U_{pi} , дифманометра, що повіряється, для кожної позначки, що перевіряється:

$$U_{pi} = \frac{U_{\max.cp}}{\Delta P_n} P_i, \quad (1.7)$$

де $U_{\max.cp}$ - середнє значення вихідної напруги, що відповідає верхній межі виміру ΔP_n , В.

$$U_{\max.cp} = \frac{U_{\max.np} + U_{\max.зг}}{2}, \quad (1.8)$$

де $U_{\max.np}, U_{\max.зг}$ - значення вихідної напруги, що відповідає верхній межі виміру ΔP_n при збільшенні і зменшенні тиску, В.

3. Розрахувати похибки дифманометра при прямому і зворотному ході:

$$\Delta_{np} = U_{np.i} - U_{pi}; \quad (1.9)$$

$$\Delta_{зв} = U_{зв.i} - U_{pi}; \quad (1.10)$$

де $U_{np.i}, U_{зв.i}$ - вихідна напруга дифманометра, що повіряється, яка відповідає позначці, що повіряється, при зміні вимірюваного тиску убік збільшення і зменшення, В.

4. Розрахувати варіацію показань дифманометра:

$$b = |U_{зв.i} - U_{np.i}|, \quad (1.11)$$

5. Розрахувати найбільшу похибку і варіацію вихідної напруги дифманометра, що повіряється, як відношення максимального значення абсолютної похибки і максимального значення варіації до максимального значення вихідної напруги.

6. Заповнити протокол повірки і зробити висновки.

7. Побудувати графік залежності розрахункового і дійсного значення вихідної напруги від вимірюваного тиску.

1.6. Контрольні питання

1. Сформулюйте визначення класу точності засобу виміру.
2. Сформулюйте визначення і приведіть приклади інструментальних похибок.
3. Що таке статична і номінальна статична характеристики, приклади?
4. Як вимірити тиск мікроманометром ММН-240?
5. Доведіть правильність формули (1.2) для визначення коефіцієнта К мікроманометра ММН-240.
6. Чи можна у мікроманометрі ММН-240 етиловий спирт замінити на дистильовану воду?
7. Як підготувати мікроманометр ММН-240 до вимірів?
8. У чому розходження у вимірі надлишкового і вакуумметричного тисків мікроманометром ММН-240?
9. Поясніть принцип дії дзвонового дифманометра.
10. Яка область застосування дзвонових дифманометрів?
11. Чому в рівняннях (1.3) і (1.4) не враховується архімедова сила?
12. Як змінити верхню межу виміру дзвонового дифманометра?
13. Чи впливає вид рідини, що заповнює, на верхню межу виміру дзвонового дифманометра?
14. У якій послідовності зробити підключення і відключення будь-якого дифманометра при вимірі різниці тисків?
15. Поясніть принцип дії і конструкцію диференційно-трансформаторного перетворювача.
16. Як впливають органи настроювання диференційно-трансформаторного перетворювача на вид його статичної характеристики?
17. Вимірювана дзвоновим дифманометром різниця тисків дорівнює нулю, а вихідна напруга значно відрізняється від нуля. Що потрібно зробити для того, щоб вихідна напруга була практично рівною нулю?
18. Чи потрібно горизонтувати прилади ММН-240 і ДКО-3702? Навіщо і як це робиться?

ПРОТОКОЛ

“ “ _____ 20 р.
 повірки _____ типу _____ № _____
 межі вимірювань _____ клас точності _____
 виготовленого _____

Зразкові прилади:

тип _____ № _____ верхня межа вимірювань _____
 тип _____ № _____ верхня межа вимірювань _____
 клас точності _____

Результати повірки

Покази за шкалою ММН-240 l , мм	Дійсне значення вимірюваного тиску P_i , кг/м ²	Розрахункове значення вихідної напруги, В	Дійсне значення вихідної напруги, В		Похибка приладу, що повіряється, В		Варіація, В
			прямий хід	зворотній хід	прямий хід	зворотній хід	
1	2	3	4	5	6	7	8

Границя допустимої основної похибки _____ %
 Найбільша похибка вихідної напруги _____ %
 Допустима варіація _____
 Найбільша варіація вихідної напруги _____

Висновки _____
 (прилад придатний, забракований;

вказати причини)

Повірку виконав _____ (Прізвище, ініціали)

Рис 1.4. Вигляд протоколу повірки дзвонового дифманометру.

3. Лабораторна робота №2

МЕМБРАННИЙ ДИФМАНОМЕТР-ВИТРАТОМІР

2.1. Мета роботи

1. Вивчення принципу дії і конструкції мембранних дифманометрів.
2. Вивчення схеми дистанційної передачі з диференційно-трансформаторними перетворювачами.
3. Налаштування схеми дистанційної передачі.
4. Вивчення і практичне освоєння стандартної методики повірки мембранних дифманометрів.

2.2. Підготовка до лабораторної роботи

1. Вивчити принцип дії і конструкцію мембранного дифманометра ДМ, вторинного диференційно-трансформаторного приладу ВМД, зразкового приладу системи Петрова ППР-2М, прийоми роботи з ним і методику повірки дифманометрів з електричним вихідним сигналом.
2. Підготувати форму звіту про лабораторну роботу, що повинний містити титульний лист, мету роботи, схему приладу і повірочну схему та короткі пояснення до них, перелік операцій, що виконуються при повірці, результати роботи (Рис.2.4).

2.3. Опис стану

На Рис.2.1 приведена загальна схема лабораторного стану, на Рис.2.2 – схема мембранного дифманометра ДМ 3583М, на Рис.2.3 – принципова електрична схема диференційно-трансформаторної системи передачі показань, включаючи схему вторинного приладу ВМД.

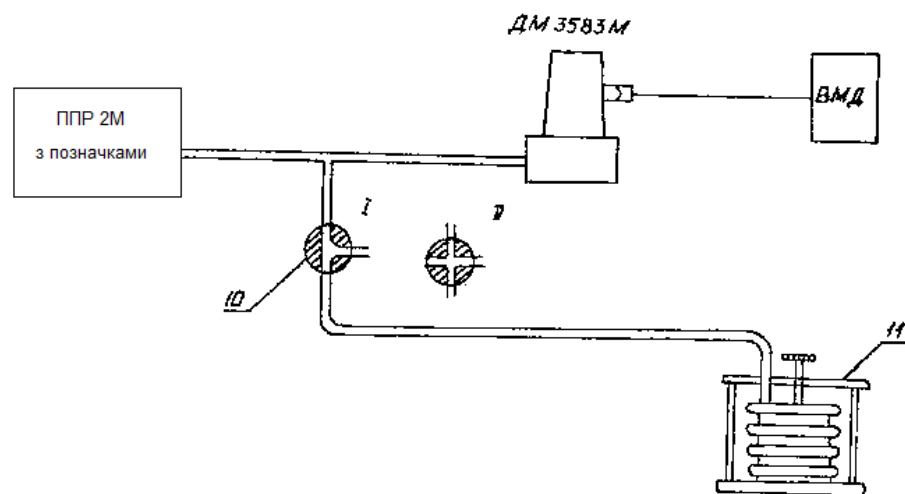


Рис. 2.1 Загальна схема лабораторного стану

Повірці підлягає дифманометр-витратомір, що складається з дифманометра ДМ 3583М та вторинного приладу ВМД зі шкалою в одиницях витрати. Тиск при повірці створюється сильфонним пресом 11 (Рис.2.1). Дійсне значення тиску визначається зразковим приладом ППР-2М.

Зразковий прилад ППР-2М являє собою рідинний мановакуумметр U - подібного типу. Мановакуумметр ППР-2М складається з двох судин: непрозорої 8 і прозорої 7, з'єднаних гумовою трубкою. Судини заповнюються дистильованою водою чи ртуттю. Непрозора судина 8 нерухома, а прозора судина 7 закріплена на каретці 1 і переміщується разом з нею по лінійці 2. Лінійка має шкалу з ціною позначки 1мм.

Величина вимірюваного тиску (розрідження) визначається за шкалою лінійки, а похибка приладу, що повіряється, визначається по величині переміщення голки 6, відлічуваної по шкалі мікрометричного гвинта, нанесеної на барабані 5. Ціна позначки цієї шкали 0,01мм.

Похибка зразкового мановакуумметра при вимірі тиску чи розрідження:

- у межах від 150 до 1000 кгс/м² відносна похибка не перевищує $\pm 0,3\%$ від дійсного значення тиску чи розрідження,
- менш 150 кгс/м² абсолютна похибка не перевищує 0,5 кгс/м².

Чутливим елементом дифманометра ДМ-3583М є мембранний блок, що складається з чотирьох чи двох мембран, профілі яких збігаються. Мембранні коробки сполучаються між собою через штуцер, укручений в перегородку 12.

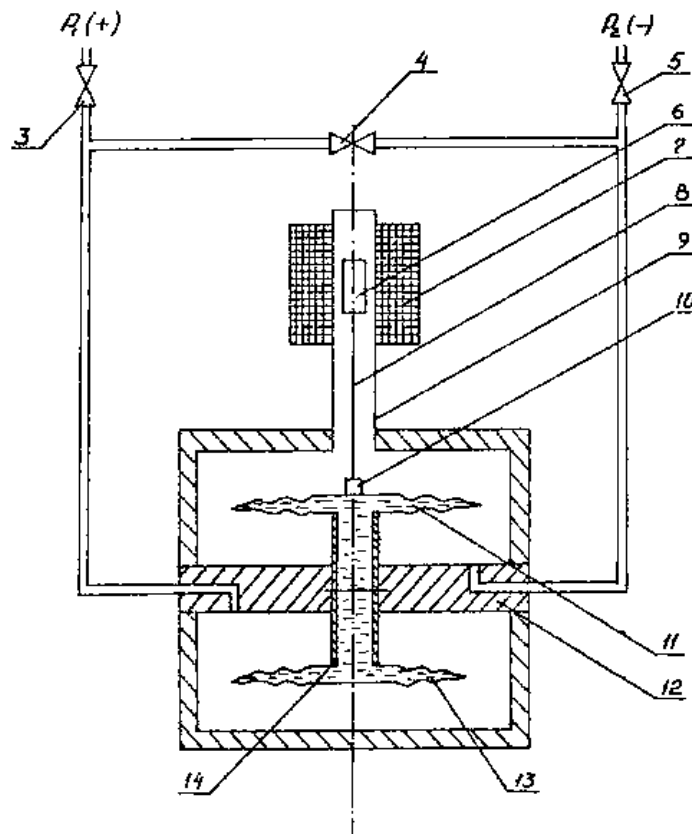


Рис 2.2 Схема мембранного дифманометра ДМ 3583М

Мембранний блок заповнюється водяним розчином етиленгліколя. Під дією вимірюваної різниці тисків мембранна коробка 13, розташована в «плюсовій» камері, стискується і рідина з неї перетікає в мембранну коробку 11, що працює на розтягання. Таким чином, зусилля, що розвивається вимірюваною різницею тисків, врівноважується силами пружної деформації мембран.

Отже, зміна верхньої межі виміру дифманометра може бути досягнута за рахунок застосування мембранних коробок різної жорсткості. Мірою вимірюваної різниці тисків є лінійне переміщення центра верхньої мембрани коробки 11 і зв'язаного з нею плунжера 6 диференціально-трансформаторного перетворювача. Вихідний сигнал дифманометра – напруга (0 – 1)В.

Система передачі інформації (Рис.2.3) працює по методу компенсації. Вихідний сигнал дифманометра, що знімається з дільника R1-R2, компенсується напругою, що знімається з дільника B2 (дільник R3-R4) вторинного приладу ВМД. Для перевірки і налагодження вторинного приладу ВМД служить кнопка SB1 («контроль»), при натисканні якої закорочується вхід вторинного приладу і на вхід підсилювача подається тільки сигнал з перетворювача B2. При правильно налагодженому приладі стрілка повинна установитися проти початкової відмітки шкали. Перетворювач B2 має додаткову обмотку III. Сигнал, що знімається з обмотки III, використовується для компенсації розбалансу вихідних сигналів перетворювачів B1 і B2 при середнім положенні плунжерів цих перетворювачів щодо напівобмоток.

Узгодження вихідних сигналів перетворювачів B1 і B2 при максимальному переміщенні їх плунжерів здійснюється дільниками напруг відповідно R1-R2 і R3-R4.

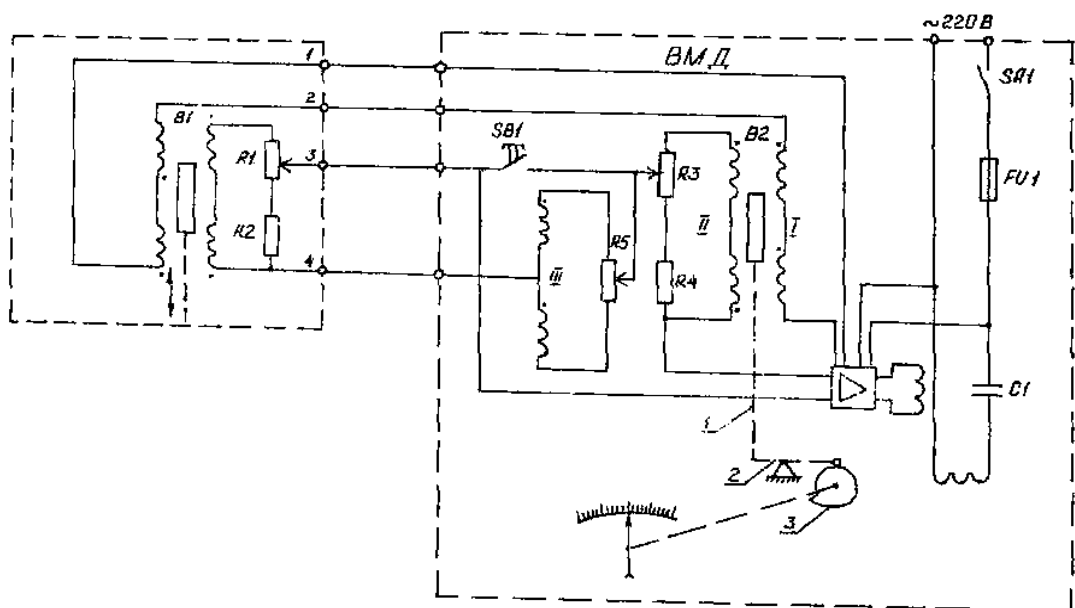


Рис. 2.3 Принципова електрична схема диференційно-трансформаторної системи передачі показань

2.4. Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему приведену на Рис.2.1. і 2.3. Подати живлення на вторинний прилад ВМД. Прогріти витратомір протягом 15-20 хв.
2. Привести зразковий мановакуумметр ППР-2М в робочий стан. Для цього:
 - 2.1. За допомогою регулювальних гвинтів установити прилад горизонтально;
 - 2.2. Встановити каретку 1 проти нульової відмітки лінійки 2. Відкрити вентиль 9 у нижній частині металевого бачка 8, а триходовим краном 10 сполучити всю систему з атмосферою (положення пробки 1);
 - 2.3. Встановити барабан 5 мікрогвинта в нульове положення. При цьому кінець голки 6 повинний стикатися з поверхнею рідини в прозорій склянці 7. Якщо кінець голки не стикається з поверхнею рідини, то необхідно, утримуючи однією рукою барабан мікрогвинта в нульовому положенні, відвернути верхню контргайку 4 і обертанням головки 3 мікрогвинта установити голку в зіткнення з рідиною. Затиснути верхню контргайку. Зразковий прилад готовий до роботи.
3. Зробити розрахунок тисків відповідних позначкам шкали, що повіряються, починаючи з 30% від максимального значення шкали витратоміра:

$$\Delta P_i = \frac{\Delta P_{\max}}{Q_{\max}^2} \cdot Q_i^2, \quad (2.1)$$

де ΔP_i - тиск, що відповідає позначці шкали, що повіряється, вторинного приладу, кгс/м²;

ΔP_{\max} - граничний номінальний перепад дифманометра, кгс/м²;

Q_i - позначка, що повіряється, шкали вторинного приладу в одиницях витрати;

Q_{\max} - витрата, що відповідає верхній межі виміру витратоміра, од. витрати.

4. Зробити налагодження системи передачі інформації з дифманометра на вторинний прилад. Для цього:

- 4.1. Натиснути кнопку «Контроль» вторинного приладу. Стрілка повинна установитися проти нульової відмітки шкали. Відпустити кнопку. При відсутності тиску в системі стрілка повинна установитися проти нульової відмітки шкали.
- 4.2. Установку стрілки на нульову відмітку зробити коректором «Нуль» вторинного приладу.
- 4.3. Встановити триходовий кран 10 у положення II.
- 4.4. Закрити вентиль 9 у нижній частині металевого бачка.
- 4.5. Підняти каретку 1 з прозорою склянкою по лінійці й установити каретку проти відмітки, що відповідає ΔP_n .
- 4.6. Сильфонним пресом 11 створити в системі тиск, при якому стрілка вторинного приладу установиться проти кінцевої відмітки шкали.
- 4.7. Відкрити вентиль 9 у нижній частині бочка. Якщо положення рівня рідини щодо кінця голки зміниться, то, змінюючи тиск у системі за допомогою

сильфонного преса, сполучити рівень рідини з кінцем голки. Для установки стрілки вторинного приладу проти кінцевої відмітки шкали скористатися коректором «Діапазон».

5. Визначити основну похибку витратоміра:

- 5.1. Закрити вентиль 9 у нижній частині бачка.
- 5.2. Установити каретку 1 з прозорою склянкою проти позначки лінійки, що відповідає ΔP_i для першої позначки шкали, що повіряється.
- 5.3. Створити сильфонним пресом 11 тиск, при якому стрілка вторинного приладу установиться проти першої позначки, що повіряється.
- 5.4. Відкрити запірний вентиль у нижній частині бачка. Якщо рівень води в склянці змінить своє положення щодо кінця голки, обертанням барабана 5 мікрогвинта сполучити кінець голки з рівнем води;
- 5.5. Зробити відлік по шкалі мікрометричного гвинта і результат занести в таблицю протоколу повірки. Шкала мікрометричного гвинта оцифрована таким чином, що її показання відповідають абсолютній похибці приладу, що повіряється. При цьому, якщо голку переміщали нагору, то відлік ведеться по шкалі з чорними діленнями, а похибка має від'ємне значення.

2.5. Обробка результатів

1. Розрахувати приведену похибку витратоміра за формулою:

$$\delta = \left(\frac{Q_i}{Q_{\max}} - \sqrt{\frac{\Delta P_i \pm \Delta}{\Delta P_n}} \right) \cdot 100, \quad (2.2)$$

де δ - приведена похибка витратоміра, %;

Q_i - значення витрати, що відповідає позначці шкали, що повіряється, од.витрати;

Q_{\max} - верхня межа виміру витрати, од.витрати;

ΔP_i - розрахункове значення різниці тисків, що відповідає позначці шкали, що повіряється, кгс/м²;

ΔP_n - гранична номінальна межа дифманометра, кгс/м²;

Δ - абсолютна похибка, кгс/м².

2. Результати розрахунку внести в таблицю протоколу повірки (Рис.2.4).

3. Зробити висновок про придатність витратоміра до застосування, визначивши допустиму приведену похибку за формулою:

$$\delta_o = \sqrt{\delta_{DM}^2 + \delta_{ВП}^2}, \quad (2.3)$$

де δ_{DM} — приведена допустима похибка дифманометра, %;

$\delta_{ВП}$ — приведена допустима похибка вторинного приладу, %.

ПРОТОКОЛ

“ “ _____ 20 р.

повірки витратоміра

Дифманометр типу _____ № _____

граничний номінальний перепад _____

клас точності _____

Вторинний прилад типу _____ № _____

границі вимірювання _____

клас точності _____

Зразкові прилади _____

тип _____ № _____ верхня межа вимірювання

_____ клас точності _____

Результати повірки

Покази вторинного приладу	Розрахункові значення різниці тисків	Абсолютна похибка		Приведена похибка	
		прямий хід	зворотній хід	прямий хід	зворотній хід

Межа допустимої основної похибки _____ %

Заключення _____

(прилад придатний, забракований; вказати причини)

Повірку виконав _____ (прізвище, ініціали)

Рис 2.4. Вигляд протоколу повірки мембранного дифманометру.

2.6. Контрольні питання

1. Яке призначення й область застосування мембранного дифманометра ДМ-3583М?
2. Опишіть принцип дії і конструкцію мембранного дифманометра.
3. Якою рідиною заповнюється мембранний блок дифманометра? Чому?
4. Як змінити верхню межу виміру мембранного дифманометра?
5. Які й у якій послідовності повинні бути виконані операції при підключенні дифманометра-витратоміра до звужуючого пристрою?
6. З яких пристроїв складається витратомір при вимірі витрати за змінним перепадом тиску?
7. Розповісти про принцип дії і конструкцію зразкового мановакуумметра ППР-2М.
8. Чи можна зразковим мановакуумметром ППР-2М вимірювати тиск до 0,1 МПа?
9. Як визначається похибка дифманометрів, що повіряються, при використанні зразкового приладу мановакуумметра ППР-2М?
10. Які органи налаштування має диференційно-трансформаторний перетворювач для зміни його статичної характеристики?
11. Опишіть порядок налагодження диференційно-трансформаторної системи передачі показань.
12. Що робити, якщо при натисканні Вами кнопки «Контроль» вторинного приладу стрілка його не встановлюється на нуль?
13. Чому у формулах (2.1) і (2.2) витрата і різниця тиску зв'язані квадратичною залежністю?
14. Як розрахувати похибку засобу виміру, якщо відомі похибки окремих пристроїв, що входять у цей засіб?
15. Намалюйте і поясніть структурну схему вторинного диференційно-трансформаторного приладу?
16. Як лінеаризувати шкалу вторинного приладу дифманометра-витратоміра?
17. Як використовується додаткова обмотка III компенсуючого перетворювача вторинного приладу?
18. Чим відрізняється дифманометр-перепадомір від дифманометра-витратоміра?
19. Чим відрізняється методика повірки дифманометра-витратоміра від методики повірки перепадоміра?
20. У яких межах шкали витратоміра забезпечується паспортна точність? Чому?

4. Лабораторна робота №3. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИФМАНОМЕТРА-ВИТРАТОМІРА МЕТРАН-100-ДД

3.1. Мета роботи

1. Вивчення принципу дії і конструкції тензорезисторних перетворювачів тиску Метран-100-ДД.
2. Вивчення призначення блоку живлення і вилучення кореня Метран-611.
3. Дослідження статичної характеристики перетворювача тиску Метран-100-ДД, блоку Метран-611 (канал $\sqrt{\quad}$) і комплекту зазначених пристроїв, як засобів вимірювання витрати.

3.2. Опис установки

На Рис.3.1 наведена схема лабораторної установки. Комплект дифманометра-витратоміра складається з дифманометра Метран-100-ДД та блоку вилучення кореня Метран-611, який одночасно є блоком живлення. Імітація ΔP забезпечується подачею тиску повітря в «+» (плюсовий) штуцер дифманометра Метран-100-ДД, при цьому «-» (мінусовий) штуцер з'єднується з атмосферою (відкрит).

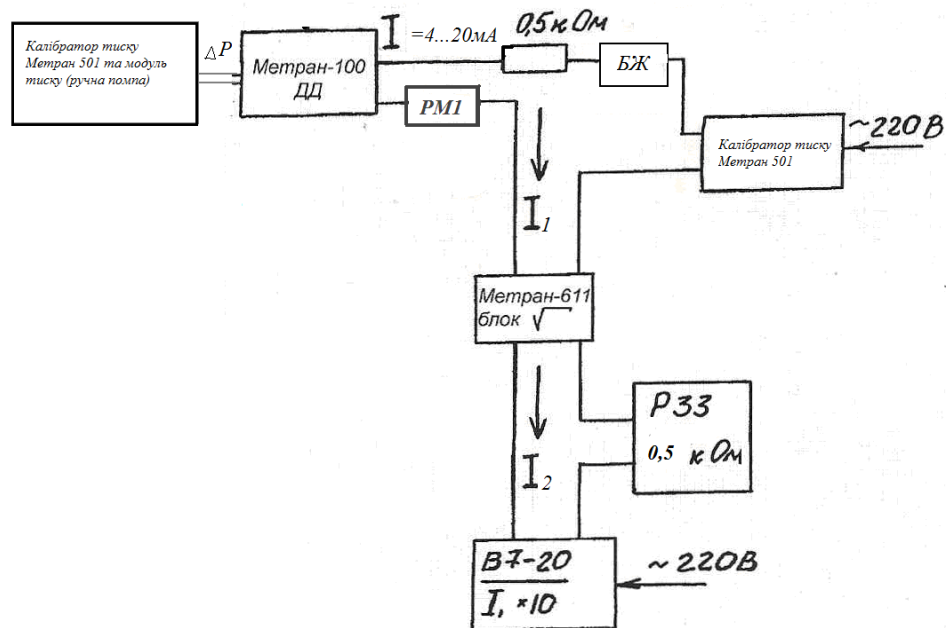


Рис. 3.1. Схема лабораторної установки

Тиск у системі створюється модулем тиску (ручною помпою), що входить до складу калібатора тиску. Дійсне значення тиску визначається зразковим приладом - калібратором тиску Метран -501-ПКД-Р.

Струмний сигнал I_1 (4÷20мА) з дифманометру Метран-100-ДД подається на канал вилучення кореня ($\sqrt{\quad}$) блоку Метран-611 та вимірюється калібратором тиску Метран-501-ПКД-Р. На виході каналу вилучення кореню блоку Метран-611

струмовий сигнал $I_2(4\div 20\text{мА})$ вимірюється зразковим міліамперметром. Додатково в струмовий ланцюг перетворювача тиску Метран-100-ДД включений цифровий витратомір РМ1 фірми ОВЕН.

3.3. Порядок виконання роботи

1. Подати живлення $\sim 220\text{ В}$, 50 Гц на блок живлення Метран-611 та цифрові вольтметри В7-20.
2. Привести калібратор Метран 501-ПКД-Р в робочий стан.
3. Зробити розрахунок тисків, що відповідають 0, 30, 40, 60, 80 і 100% максимальної витрати:

$$P_i = \frac{P_n Q_i^2}{Q_{\max}^2}; \quad (3.1)$$

де P_i - тиск, що відповідає заданому значенню витрати, Па;

P_n - граничний номінальний перепад перетворювача Метран-100-ДД, Па;

Q_i - задані значення витрати у відсотках від максимального;

Q_{\max} - максимальна витрата, що відповідає P_n , %.

Результати розрахунку занести в таблицю. 3.1

Таблиця 3.1

Витрата Q_i , %	Розр. сила струму на вих. блоку $\sqrt{\quad}$, I_p , мА	Розр. тиск P_i , Па	I_1 Сила струму на виході Метран-100- ДД, мА			I_2 Сила струму на виході блоку $\sqrt{\quad}$, мА			Похиб- ка, γ	Коеф. перетв. $\sqrt{\quad}$	Показання витратоміру (м ³ /год) РМ1
			↑	↓	середнє	↑	↓	середнє			
0											
30											
40											
60											
80											
100											

4. Розрахувати силу струму на виході блоку $\sqrt{\quad}$, що відповідає заданим значенням витрати Q_i :

$$I_i = \frac{(I_{\max} - I_{\min})Q_i}{Q_{\max}} + I_{\min}; \quad (6.2)$$

де $I_{\min} = 4\text{мА}$, $I_{\max} = 20\text{мА}$.

Результати занести в таблицю. 6.1

5. Провести вимірювання на прямому ході вхідних та вихідних сигналів перетворювача Метран-100-ДД та блоку вилучення кореня Метран-611 при витратах, що відповідають 0, 30, 40, 60, 80 і 100% максимальної витрати. Відлік тиску на вході здійснюється калібратором тиску Метран-501-ПКД-Р, а сили струму на виході перетворювача Метран-100-ДД і на виході блоку вилучення кореня Метран-611 зразковим міліамперметром. Результати вимірювань записати в таблицю 6.1.

3.4. Обробка результатів

1. Розрахувати середнє значення сили струму на виході перетворювача Метран-100-ДД і блоку вилучення кореня Метран-611 для всіх заданих значень витрати.

2. Побудувати в координатах «витрата $Q_i, \%$ - сила струму, мА» графіки:

- Середнє значення сили струму на виході перетворювача Метран-100-ДД - функція витрати; $I_1 = f(Q_i)$

- Середнє значення сили струму на виході блоку вилучення кореня Метран-611 - функція витрати. $I_2 = f(Q_2)$

3. Для блоку вилучення кореня Метран-611 побудувати графік залежності середнього значення сили вихідного струму від середнього значення сили вхідного струму (тобто сила струму на виході перетворювача Метран-100-ДД). $I_2 = f(I_1)$

4. Проаналізувати отримані залежності.

5. При аналізі графіка $I_{\text{вих}} = f(I_{\text{вх}})$ для блоку вилучення кореня зробити припущення про можливий вигляд формули, яка описує зазначену залежність.

6. Розрахувати для кожного значення витрати Q_i коефіцієнт перетворення C_i блоку вилучення кореня. Результати занести в таблицю.

7. Розрахувати середнє значення коефіцієнта перетворення $C_{\text{сер}}$ і записати в остаточному вигляді формулу, що зв'язує вхід і вихід блоку вилучення кореня Метран-611.

8. Визначити похибку дифманометра-витратоміра Метран-100-ДД. Зробити висновок про придатність дифманометра-витратоміра Метран-100-ДД до роботи.

9. При наявності цифрового витратоміра РМ1, його показання звірити з одержаними результатами.

3.5.Контрольні питання

1. Яке призначення і сфера застосування тензорезисторного перетворювача тиску Метран-100-ДД?
2. Принцип дії і конструкція тензорезисторного перетворювача тиску Метран-100-ДД?
3. Як змінити межу виміру приладу тиску дифманомета?
4. З яких пристроїв складається витратомір при вимірі витрати за змінним перепадом тиску?
5. Як визначається похибка дифманометра витратоміру при використанні зразкового приладу калібратор тиску Метран 501-ПКД-Р?
6. Призначення блоку $\sqrt{\quad}$ Метран-611.
7. Які органи налаштування має дифманометр «Метран-100-ДД»?
8. Які висновки можна зробити проаналізувавши отримані статичні характеристики Метран-100-ДД і $\sqrt{\quad}$ Метран-611?
9. Які висновки можна зробити проаналізувавши залежність сили вихідного струму $\sqrt{\quad}$ Метран-611 від сили вхідного струму (тобто сили струму на виході перетворювача Метран-100-ДД)?
10. Чим відрізняється дифманометр-витратомір від дифманометра-перепадоміру?
11. Чим відрізняється методика повірки дифманометра-витратоміра від методики дифманометра-перепадоміра?
12. У яких межах діапазону вимірювань витратоміра забезпечується паспортна точність? Чому?
13. Який вимірювальний прилад показує і реєструє витрату і в яких одиницях позначається його шкала? Який діапазон шкали витратоміра нормується і позначається?
14. Чим лімітується дистанційність передачі інформації від струмових перетворювачів?
15. Які застосовуються схеми підключення вторинних засобів до перетворювачів тиску залежно від тиску уніфікованих струмових сигналів?

5. Лабораторна робота № 4 ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ВЗАЄМНОЇ ІНДУКЦІЇ

4.1. Мета роботи

Вивчити призначення, принцип дії, конструкцію та типи диференціально-трансформаторних перетворювачів (ДТП) і феродинамічних перетворювачів (ФП), області їх застосування; дослідити статичні характеристики ДТП та ФП.

4.2. Підготовка до лабораторного заняття

1. Ознайомитись з теоретичними відомостями щодо ДТП та ФП.
2. Підготувати форму звіту, включаючи результати роботи і висновки.

4.3. Опис установки

Установка для визначення статичної характеристики ДТП (Рис.4.1) складається з перетворювача ДТП, індикатора ИЧ, який служить для визначення величини переміщення плунжера, і цифрового вольтметра В7-20 для виміру вихідної напруги перетворювача.

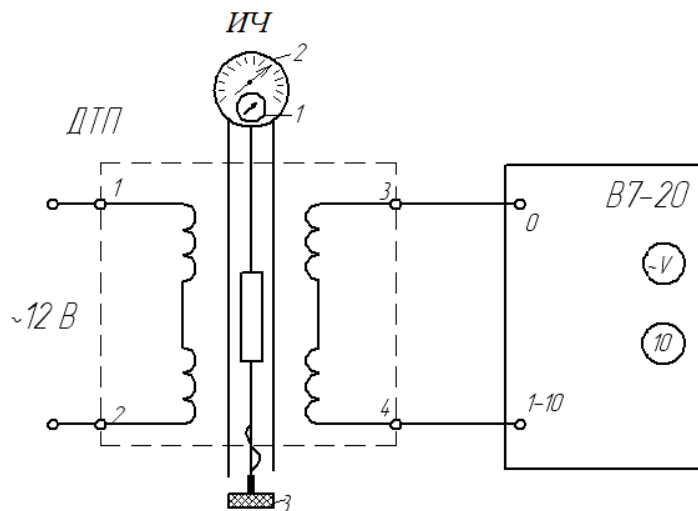


Рис. 4.1.Схема дослідження ДТП

На Рис.4.2 зображена схема для визначення статичної характеристики феродинамічного перетворювача.

Перетворювач вмонтований в задатчик ДЗП, шкала якого виконана в процентах кута повороту рамки. Вихідна напруга перетворювача вимірюється цифровим вольтметром В7-20. Замиканням клем 4 і 5 можна ввімкнути послідовно рамку і обмотку зміщення (вихідна напруга – клемми 3-6).

4.4. Порядок виконання роботи

1. Підключити вольтметр (клемми 0 і 1-10) до клем 3 і 4 ДТП, встановити перемикачі вольтметра в положення « $\sim V$ » і «10».

2. Обертаючи рукоятку 3 ДТП, встановити плунжер в такий стан, при якому вихідний сигнал за шкалою В7-20 буде дорівнювати нулю. Записати в табл.4.1 положення за шкалами 1 і 2 індикатора ИЧ і величину сигналу.
3. Повертаючи шкалу 2 індикатора ИЧ, встановити нульову позначку проти стрілки.

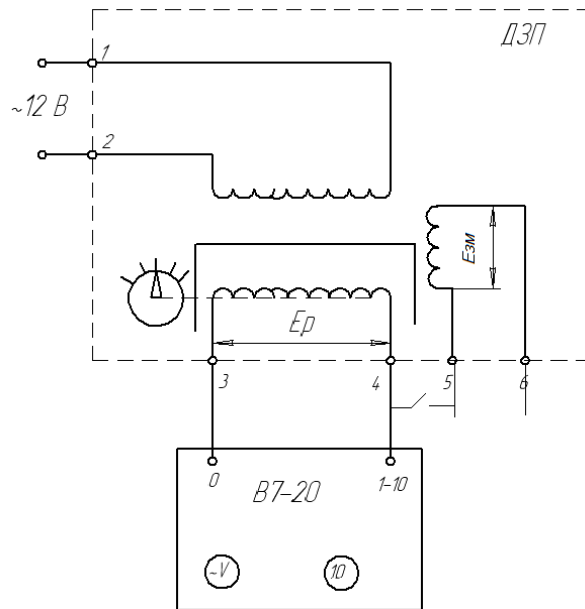


Рис. 4.2. Схема дослідження ФП

4. Переміщуючи плунжер спочатку в одну, а потім в іншу сторону від середнього положення, виміряти вихідний сигнал ДТП через кожні 0,5 мм ходу (в межах ± 4 мм від середнього положення). Результати записати в табл.4.1.

Таблиця 4.1

Положення плунжера за показаннями ИЧ, мм	Переміщення плунжера від середнього положення l , мм	Вимірювання значення вихідного сигналу E , В	Розрахункове значення вихідного сигналу E_p , В	Відхилення дійсної характеристики від розрахункової ΔE , В

5. Розібрати схему.
6. Підключити живлення ФП по схемі Рис.4.2.
7. Підключити вольтметр (клемі 0 і 1-10) до клем 3 і 4 ДЗП і встановити перемикачі в положення $\sim V$ і 10.
8. Встановити стрілку задатчика на відмітку 50% шкали. Якщо при цьому сигнал E_p не дорівнює нулю, то коректором нуля перетворювача (ексцентриком у рамки перетворювача) досягти $E_p = 0$.

9. Встановити стрілку задатчика на відмітку 0%. Якщо вихідний сигнал E_p знаходиться в межах 0.9...1.0В, перемістити стрілку задатчика на відмітку 100% і переконатись в тому, що E_p також знаходиться в межах 0.9...1.0В. В протилежному випадку плунжером перетворювача завести сигнал у вказані діапазони.
10. Повертаючи стрілку задатчика виміряти вихідний сигнал E_p через кожні 10% повороту рамки. Результати записати в табл.4.2.
11. Підключити вольтметр до клем 5 і 6 задатчика і виміряти вихідний сигнал $E_{зм}$ через кожні 10% повороту рамки. Результати записати в таблицю 10.2.
12. Підключити вольтметр до клем 3 і 6 і замкнути клемами 4 і 5.
13. Виміряти вольтметром вихідний сигнал E через кожні 10% повороту рамки. Результати занести в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Положення стрілки ДЗП, %	Кут повороту рамки від відмітки 50%, град	ЕРС рамки (клеми 3 і 4) E_p , В	ЕРС обмотки зміщення (клеми 5 і 6) $E_{зм}$, В	Виміряне значення ЕРС (клеми 3 и 6), В

4.5. Обробка результатів

1. Розрахувати очікуване значення вихідного сигналу ДТП E_p , виходячи з умови лінійності вихідної характеристики, по формулі:

$$E_p = \frac{E(-4) + E(+4)}{8} l \quad (4.1)$$

де $E(-4)$ и $E(+4)$ - значення вихідного сигналу ДТП при максимальному ході плунжера на 4 мм відповідно в одну і в іншу сторону від середнього положення, В;

l - величина переміщення плунжера від середнього положення, мм.

2. Розрахувати відхилення дійсної статичної характеристики ДТП від розрахункової лінійної по формулі:

$$\Delta E = E - E_p. \quad (4.2)$$

3. Побудувати графік виміряної статичної характеристики ДТП $F = f(l)$ у координатах « $l - E$ ».
4. Зробити висновки про лінійність статичної характеристики ДТП.
5. Побудувати графік залежності ЕРС рамки E_p , ЕРС обмотки зміщення $E_{зм}$ і виміряної сумарної ЕРС феродинамічного перетворювача $(E_p + E_{зм})$ від кута повороту рамки.

4.6. Контрольні питання

1. Що таке статична характеристика СХ?
2. Що таке номінальна статична характеристика НСХ?
3. Чому СХ засобу виміру або перетворення відрізняється від НСХ?
4. Принцип дії диференціально-трансформаторних і феродинамічних перетворювачів.
5. Які відмінності в принципах перетворення вхідного сигналу в вихідний в ДТП і ФП?
6. Як побудований ДТП?
7. Поясніть конструкцію ФП.
8. Чим відрізняються модифікації феродинамічних перетворювачів?
9. Чому при середньому положенні плунжера ДТП або при вертикальному положенні рамки ФП вихідний сигнал рівний нулю?
10. Чому НСХ ДТП і ФП зображена в двох квадрантах, хоча вихідний сигнал при цьому змінюється в однакових границях $/0-1/V$?
11. Які органи налаштування має ДТП?
12. Що потрібно зробити, щоб СХ ДТП привести до НСХ ДТП?
13. Яким органом настройки ДТП потрібно користуватись, щоб статичну характеристику привести до НСХ?
14. Як отримати статичні характеристики П і Ш феродинамічних перетворювачів?

6. Лабораторна робота № 5 ГІДРОСТАТИЧНИЙ РІВНЕМІР

5.1. Мета роботи

1. Вивчення принципу дії і конструкції гідростатичних засобів вимірювання рівня рідини.
2. Вивчення і практичне освоєння методики повірки гідростатичних засобів вимірювання рівня рідини.
3. Дослідження статичної характеристики гідростатичного рівнеміру Сафір

5.2. Підготовка до лабораторного заняття

1. Ознайомитись з лабораторним стендом з виміру рівня рідини.
2. Підготувати форму звіту до лабораторної роботи, що повинен містити титульний лист, мету роботи, схему лабораторного стенду, перелік основних операцій, результати роботи у вигляді протоколу повірок (рис.5.3).

5.3. Опис лабораторного стенду

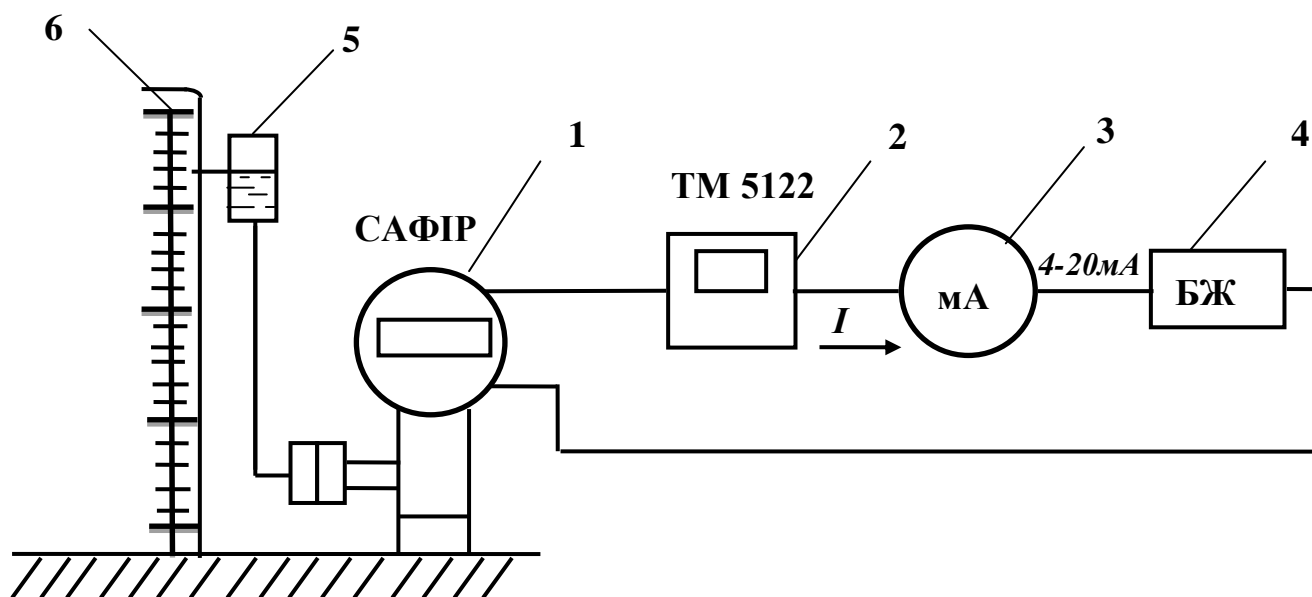


Рис. 5.1. Принципова схема лабораторного стенду

На рис.5.1. приведена принципова схема лабораторного стенду. До перетворювача Сафір (1) за допомогою трубки (шлангу) підключено прозорий посуд з водою (5), який переміщується вздовж вертикальної шланги з оцифрованою лінійкою 0-1000 мм (6). Перетворювач вимірює тиск стовпчика води, який можна змінювати, переміщуючи прозорий посуд з водою вздовж шланги, та перетворює цей тиск в уніфікований струмовий сигнал 4-20 мА. До електричного виходу перетворювача підключений міліамперметр (3), блок живлення (4) та цифровий показуючий прилад Елемер ТМ 5122 (2), який вимірює

рівень води залежно від положення прозорого посуду. Сила струму у струмовому ланцюжку перетворювача Сафір вимірюється зразковим міліамперметром (3). Живлення здійснено від блоку живлення Метран 502 (4) напругою 12-36 В.

5.4. Порядок виконання робіт

1. Опустити прозорий посуд з водою до відмітки «0» по лінійці (рівень води в ньому повинен бути напроти цієї відмітки) та зняти показання тиску Сафір, значення рівня на показуючому приладі Елемер ТМ 5122 та струму по міліамперметру (перевірка «нуля»).
2. Провести аналогічні вимірювання у всьому діапазоні до 1 м (1000мм), переміщуючи прозорий посуд з водою вздовж штанги, фіксуючи положення на відмітках 200, 400, 600, 800 та 1000мм.
3. Результати вимірювання занести в протокол вимірювань за формою(рис.5.3).

5.5. Обробка результатів

1. Розрахувати значення рівня за показаннями перетворювача Сафір:

$$H = \frac{P}{\rho g}, \text{ мм.в.ст. (5.1.)}$$

2. Порівняти зі значеннями по лінійці та показами ТМ 5122.
3. Визначити похибку та зробити висновок про придатність комплекту до експлуатації.
4. Побудувати статичну характеристику перетворювача Сафір.
5. Повірка по вихідному струму як перетворювача тиску Сафір виконується за розрахунками згідно формули:

$$\frac{I_i - I_p}{I_{\max} - I_{\min}} \cdot 100\% \text{ (5.2.)}$$

$$\text{де } I_p = I_{\min} + \frac{I_{\max} - I_{\min}}{P_{\max}} \cdot P_i$$

5.6. Контрольні питання

1. В чому суть гідростатичного метода вимірювання рівня рідини?
2. Як вимірювати рівень рідини у ємкостях з надлишковим тиском (закритих)?
3. Чим відрізняються шкали вторинних приладів рівнемірів у атмосферних ємкостях від таких, що знаходяться під надлишковим тиском (закритих)?
4. Як підібрати номінальний перепад дифманометра рівнеміра?
5. Конструкція і принцип дії тензорезисторного перетворювача різниці тисків.
6. З яких приладів складається гідростатичний рівнемір?
7. Як визначається допустима похибка гідростатичного рівнеміра?

ПРОТОКОЛ

“ “ _____ 20 р.

повірки _____ типу _____ № _____
 границі вимірювань _____ клас точності _____ ,
 що належить _____

Зразкові прилади _____
 типу _____ № _____ клас точності _____

Результати повірки

Рівень по шкалі штанги, $H_{\text{л}}$, мм	Покази ТМ5122, $H_{\text{ел}}$, мм	Покази Сафір, P_i , кПа	Розрахункове значення тиску, $P_{\text{роз}}$, кПа	Вихідний струм Сафір, I_i мА	Розрахункове значення рівня за показ. Сафір, мм	Δ сафір, мм	Допустиме значення похибки, Δ_d	$\Delta_{\text{ел}}$	Δ_k , мм
0	2	3	4	5	6	7	8	9	10
200									
400									
600									
800									
1000									

Висновки _____

(прилад придатний, забракований;

вказати причини)

Повірку виконав _____ (Прізвище, ініціали)

Рис. 5.3 Вигляд протоколу повірки гідростатичного рівнеміра.

ЛІТЕРАТУРА

1. Денісов А. К. Теплотехнічні вимірювання та прилади : Навч. Посіб. / А. К. Денісов, С. А. Денісов. – Рівне : НУВГП, 2013. – 184 с.
2. Лукінюк М.В. Технологічні вимірювання та прилади: Навч. Пос. /М.В. Лукінюк. – Київ: НТУУ «КПІ», 2007, – 436с, ISBN 966-622-148-9
3. Шикалов В.С. Технологічні вимірювання: Навч.посіб. / В.С. Шикалов. – Київ: Кондор, 2007, – 168с.
4. Дорожовець М.М. Основи метрології та вимірювальної техніки: Навч.посіб. у 2-х томах / М.М. Дорожовець, В.О. Мотало, Б.В. Стадник, В. Василюк, Р. Борек, А. Ковальчик; За ред Б.В. Стадника. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, Т. 1. Основи метрології, 2005, – 532 с., ISBN 966-553-311-8; Т. 2. Вимірювальна техніка. 2005, – 656 с. ISBN 966-553-310-8
5. Иванова Г.М. Теплотехнические измерения и приборы: учеб. пособ.–2-е изд., перераб. и доп. / Г.М Иванова, Н.Д. Кузнецов, В.С. Чистяков. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 460 с., ил. – ISBN 5-7046-1046-3
6. Цюцюра В. Д. Метрологія та основи вимірювань: Навч.посіб. / В. Д.Цюцюра, С. В. Цюцюра. –Київ: Знання-Прес, 2003. –180с., ISBN 966-7767-39-6
7. Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы. – М.: Энергия, 1978, –704 с., ил.
8. Ноженко К.Д. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Технологічні вимірювання і прилади. Контроль теплофізичних величин» / Уклад. К.Д.Ноженко, С.Ю.Олійник, Л.Д.Пайзанський – Київ: НТУУ«КПІ», 2010. –37с.